

Confecção de Tijolos Ecológicos Solo-Cimento incorporados com rejeitos de Minerações de Quartzito e Rocha Fosfática

Isabela Bueno Lemos, Maria José Reis, Fernanda Medeiros Dutra Reis, Lo-Ruana Karen Amorim Freire Sanjulião, Thales Volpe Rodrigues

Resumo: Diante da crescente carência de recursos naturais, a construção civil, por meio de novos métodos construtivos, procura minimizar os impactos ambientais através da redução do desperdício e do aperfeiçoamento das tecnologias aplicáveis à construção, os quais são fatores de constante interesse no mercado altamente competitivo. Obtido por meio da mistura do solo, cimento e água, que criam um composto que endurece após ser prensado e curado, os blocos modulares compostos de solo-cimento, também chamados de tijolos ecológicos, são uma ótima opção de aproveitamento de rejeitos e redução dos impactos. Tendo em vista a importância das questões ambientais e da demanda com relação ao consumo de recursos minerais, o presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade do uso dos estéréis provenientes da extração de Rocha Fosfática e do resíduo de Quartzito como agregado miúdo na produção de tijolos solo-cimento, demonstrando dessa forma a possibilidade da sua utilização como um agregado alternativo aos agregados convencionais.

Palavras chave: Quartzito, tijolo ecológico, solo-cimento, resíduo mineração, desenvolvimento sustentável.

Manufacture of Ecological Soil-Cement Bricks incorporated with tailings from Quartzite and Phosphate Rock Mining

Abstract: In view of the growing lack of natural resource, civil construction, through new construction methods, seeks to minimize environmental impacts by reducing waste and improving technologies applicable to construction, which are factors of constant interest in the highly competitive market. Obtained by mixing soil, cement and water, which create a compound that hardens after being pressed and cured, the modular blocks composed of soil-cement, also called ecological bricks, are a great option for rejecting waste and reducing impacts. Bearing in mind the importance of environmental issues and demand in relation to the consumption of mineral resources, the present work aims to analyze the feasibility of using the sterile from the extraction of phosphate rock and Quartzite residue as fine aggregate in the production of bricks soil-cement, thus demonstrating the possibility of its use as an alternative aggregate to conventional aggregates.

Key-words: Quartzite, ecological brick, bricks soil-cement, mining waste, sustainable development.

1. Introdução

O setor da construção civil tem considerável impacto no meio ambiente devido ao uso excessivo dos recursos naturais como matéria-prima. Em virtude disso, com o crescimento dessa área, existe a preocupação com a sustentabilidade para que os impactos gerados por esse setor se tornem menores.

O Conselho Internacional da Construção aponta a indústria da construção civil como o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais. Desse modo, uma das soluções é o uso de matéria-prima reaproveitada.

Além dos impactos relacionados ao consumo de matéria e energia, há aqueles associados à geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Estima-se que mais de 50% dos

resíduos sólidos gerados pelo conjunto das atividades humanas sejam provenientes da construção. Tais aspectos ambientais, somados à qualidade de vida que o ambiente construído proporciona, sintetizam as relações entre construção e meio ambiente (MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE, 2014).

A maior parte dos impactos ambientais causados pelas grandes indústrias e empresas também é devido ao descarte indevido dos seus resíduos. Dentre vários, destaca-se o resíduo produzido pelas mineradoras, que muitas vezes não podem ser reutilizados por conterem partes de minérios que são capazes de contaminar o ambiente em que são dispostos, representando um grave problema ambiental.

Dessa maneira, os rejeitos são consequência inevitável dos processos de tratamento a que são submetidos os minérios, sendo gerados paralelamente ao produto de interesse. Essa grande produção de rejeitos gera uma preocupação cada vez maior nas empresas, que buscam minimizar os impactos ambientais e os custos associados aos processos de disposição e contenção deste material, por meio da implementação de sistemas de disposição adequados às necessidades ambientais e de segurança (KAWA, 2015).

Considerando todos os aspectos envolvidos, o tijolo de solo-cimento pode contribuir para a construção de um novo paradigma, por ser produzido com materiais que consideram processos bem menos nocivos ao meio ambiente, devido a ausência de queima, e o reaproveitamento de rejeitos provenientes de descarte, e com fabricação que pode ser executada por qualquer pessoa, ou seja, até pelos próprios moradores da residência a ser construída (NASCIMENTO, 2015).

Os compostos de solo-cimento, também chamados de tijolos ecológicos, são obtidos por meio da mistura do solo, cimento e água, que criam um composto que endurece após ser prensado e curado. Segundo Mota et al. (2010), a resistência à compressão equipara-se à do tijolo convencional e, além de outros benefícios, o material em questão é importante devido à sua matéria-prima, que, de acordo com Pisani (2005, p. 53), “é abundante em todo o planeta, não gasta energia para ser queimado e possui características isolantes”. Sendo assim, pode-se economizar energia tanto na fabricação quanto no condicionamento de ambientes confortáveis.

Dentre as várias vantagens dos tijolos de solo-cimento, destaca-se a possibilidade de adicionar outros tipos de materiais a sua mistura. Muitas vezes os materiais utilizados são provenientes de descarte, o que faz deste um material sustentável.

Tendo em vista a importância das questões ambientais e a demanda com relação ao consumo de recursos minerais, o presente trabalho pretende contribuir com uma alternativa do uso dos rejeitos de rocha fosfática da Mineração Morro Verde, situada em Pratápolis- MG e dos rejeitos de quartzito da Mineração PR Pedras, em Alpinópolis-MG para a confecção de tijolos ecológicos, analisando suas propriedades, como a resistências à compressão, e fazendo um paralelo dos tijolos solo-cimento com materiais convencionais.

2. Materiais

Os materiais utilizados na composição do solo-cimento foram coletados na região sudoeste de Minas Gerais, nas cidades de Pratápolis (Mineração de Rocha Fosfática) e Alpinópolis (Mineração de Quartzito).

A Mineração de rocha fosfática desenvolve atividade de lavra a céu aberto sem tratamento e/ou com tratamento a seco do mineral fosfato na zona rural do município de Pratápolis/MG.

A extração ocorre em taludes com 5 metros de altura, estabelecida a partir de modelos geológicos. De modo geral, são desenhados e calculados sólidos mineralizados em relação à topografia da superfície do terreno, no caso, blocos cúbicos de 5 metros de altura. Nesses blocos são traçadas as bancadas onde deve ocorrer o sequenciamento da lavra. As bancadas são dimensionadas com um alto coeficiente de segurança, para isso, é adotado o ângulo limite de estabilidade de solos, que é inferior a 60° . A lavra é composta basicamente por operação de remoção da camada de topsoil, desmonte do minério, beneficiamento, estocagem em pilhas, carregamento e transporte. O desmonte é executado por escavadeira hidráulica de porte médio sem utilização de explosivos porque o minério é extremamente friável (SEMAD, 2017).

A coleta dos rejeitos de quartzito, foi realizada no Centro Produtor de Alpinópolis que é considerado um dos mais importantes do Brasil com relação à produção de quartzito. O município de Alpinópolis possui aproximadamente 35 depósitos de quartzito na região, sendo estes distribuídos entre seis empresas de mineração localizadas na Serra do Chapadão, a poucos quilômetros da cidade.

A extração de quartzito gera uma quantidade expressiva de resíduos. Segundo Ramirio et al. (2008), que analisaram dados de mineradoras do sudoeste de Minas Gerais, pode-se gerar uma quantidade de rejeito correspondente a até 92% do material extraído. Sendo a produção anual de cerca de 500.000 toneladas de quartzito em Minas Gerais, consoante com Associação Brasileira de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS), o montante de resíduos gerados anualmente pode chegar a quase 6 milhões de toneladas. Desse modo, agregar valor a esse resíduo é a melhor chance de desenvolvimento para o setor.



Fonte: IPNI Brasil (2017)

Figura 1 - Localização: Estéril de Rocha Fosfática.



Fonte: O autor (2018)

Figura 2 - Localização: Rejeito de Quartzito



Fonte: O autor (2018)

Figura 3 - Preparação da amostra in loco

3. Metodologia

A metodologia de trabalho consistiu na caracterização dos materiais (solo de rocha fosfática (SRF) e do resíduo de quartzito), no estudo de dosagem (SRF + RQ), na confecção dos tijolos solo cimento e na determinação dos parâmetros de resistência e absorção dos produtos resultantes.

Os materiais foram caracterizados visando atender os parâmetros da NBR 10833 (ABNT, 2012) para a confecção dos tijolos de solo-cimento, que estabelece que os mais adequados são os que possuem 100% dos grãos passando na peneira 4,8 mm; de 10% a 50% passando na peneira 0,075 mm; limite de liquidez LL de 45%; e limite de plasticidade LP de 18%.

Desse modo, foram realizados ensaios preliminares de caracterização tecnológica dos materiais: Análise Granulométrica Conjunta NBR 7181 (ABNT, 2017); Limites de Liquidez NBR 6459 (ABNT, 2016); Limites de Plasticidade NBR 7180 (ABNT, 2016). E posteriormente ensaios de Proctor Normal NBR 12023 (ABNT, 2016) e Resistência a Compressão e Absorção NBR 8492 (ABNT, 2016).

3.1 Análise Granulométrica

Os solos, em sua fase sólida, contêm partículas de diferentes tamanhos e em proporções variadas. A determinação do tamanho das partículas e suas respectivas porcentagens permitem obter a distribuição de partículas do solo, que é denominada distribuição granulométrica. Dessa maneira, o ensaio de granulometria, estabelecido pela NBR 7181, é o processo utilizado para a determinação da porcentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de partículas representa na massa total ensaiada.

Nessa fase, foi feita a granulometria dos rejeitos separadamente: quartzito e solo Morro Verde. Além disso, foi analisada também a distribuição granulométrica de 3 misturas pré-definidas de solo/quartzito para estudo: 4:1, 3:1 e a 2:1.

3.2 Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade

Foi realizado o ensaio de Liquidez para cada mistura de estudo (4:1; 3:1 e 2:1). O Limite de Liquidez (LL), de acordo com a NBR 6459, é o valor de umidade no qual o solo passa do estado líquido para o plástico. No ensaio, esse limite é determinado com auxílio do aparelho de Casagrande, no qual se determina o teor de umidade que, com 25 golpes, une os bordos inferiores de uma canelura (um centímetro de comprimento) aberta, na massa de solo, por um cinzel de dimensões padronizadas.

Seguindo o padrão de ensaio estabelecidos na norma NBR 6459 para o cálculo do Limite de Liquidez utilizou-se a equação a seguir:

$$W(\%) = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

O Limite de Plasticidade (LP), é o teor de umidade abaixo do qual o solo passa do estado plástico para o estado semi-sólido, ou seja, ele perde a capacidade de ser moldado e passa a ficar quebradiço. O ensaio, de acordo com a NBR 7180, resume em se determinar a umidade do solo quando uma amostra começa a fraturar ao ser moldada com a mão sobre uma placa de vidro, na forma de um cilindro com cerca de 10 cm de comprimento e 3 mm de diâmetro. A NBR 7180 estabelece que para cálculo do limite de plasticidade utiliza-se a Equação 1, apresentada anteriormente.

3.3 Compactação (Ensaio Proctor Normal)

A compactação é um método de estabilização de solos que se dá por aplicação de alguma forma de energia (impacto, vibração, compressão estática ou dinâmica). Seu efeito confere ao solo um aumento de seu peso específico e resistência ao cisalhamento, e uma diminuição do índice de vazios, permeabilidade e compressibilidade. Por meio do ensaio de compactação, NBR 12023 (ABNT, 2012), é possível obter a correlação entre o teor de umidade e o peso específico seco de um solo quando compactado.

No ensaio de compactação, a mistura 4:1 foi descartada devido à quantidade de areia apresentada na amostra ser inferior a estabelecida pela norma que é de 50%. As misturas 3:1 e 2:1 possuem, respectivamente, 50% e 53,3% dos grãos de areia.

Consiste em se compactar uma amostra dentro de um recipiente cilíndrico, com aproximadamente 1.000 cm³, em 3 camadas sucessivas, sob a ação de 25 golpes de um soquete pesando 2,5 kg, caindo de 30,5 cm de altura.

O ensaio é repetido para diferentes teores de umidade, determinando-se, para cada um deles, o peso específico aparente. Com os valores obtidos, traça-se a curva Vs x teor de umidade, obtendo-se o ponto correspondente a umidade ótima e a densidade máxima aparente seca (Vs,max).

Ainda com as misturas 2:1 e 3:1 de solo/ quartzito, a próxima etapa foi a confecção dos tijolos.

3.4 Definição do traço

Após a verificação dos ensaios anteriores foram pré-determinados dois traços de cimento/mistura para serem testados: 1:6 e 1:8.

Desse modo, a próxima etapa foi a confecção dos tijolos.

3.5 Confeção dos tijolos

Os tijolos foram confeccionados em Pratapólis na fábrica da ECOTERM, que produz tijolos ecológicos de vários modelos e formas, seguindo as especificações da NBR 8491 (2012).



Fonte: O autor (2018)

Figura 4 - Confeção dos tijolos

Após a fabricação, foi realizada a cura úmida, onde os tijolos foram envoltos com um plástico, ao abrigo do sol e vento durante 7 dias.

3.6 Ensaio de resistência à compressão

Antes da realização do ensaio de compressão, sete tijolos foram preparados conforme especificações da NBR 8492 (ABNT, 2012). O corte deles foi feito com o auxílio de uma serra circular elétrica. Após cortados, suas duas partes foram sobrepostas e coladas com argamassa e suas faces capeadas. A finalidade do capeamento foi deixar as faces retificadas para perfeito encaixe na prensa de compressão.



Figura 5 - Preparação dos corpos de prova

Fonte: O autor (2018)

Após 24 horas pós capeamento, as dimensões da sua área de contato foram determinadas para serem utilizados no cálculo da resistência. Os corpos de prova foram colocados na prensa e submetidos a uma carga que foi gradativamente elevada até atingir a ruptura.



Figura 6 - Ensaio de Resistência à Compressão
Fonte: O autor (2018)

3.7 Absorção da água

O método utilizado para o ensaio de determinação da absorção de água nos blocos é prescrito pelas normas NBR 13555 (ABNT, 2012) e NBR 8492 (ABNT, 2012).

A absorção de água mostra, em porcentagem, a relação entre o peso seco da amostra, e o peso saturado da mesma, de modo a apontar a quantidade de água que a amostra absorve em sua pior condição (PINTO, 2015). Os valores de porcentagem média de absorção dos corpos de prova não podem ultrapassar 20%, e individualmente não podem ser superiores a 22%.

Para sua determinação foi preciso colocar 2 tijolos de cada traço para secar em estufa a cerca de 110° C por 24 horas. Ao serem retirados da estufa, foram determinadas as suas massas secas. Posteriormente, foram imersos em água por 24 horas. Depois de retirados da água, foram secos superficialmente com um pano e novamente pesados obtendo assim sua massa saturada.

4. Resultados

4.1 Análise Granulométrica

Os resultados da análise granulométrica foram interpretados com o auxílio das curvas granulométricas para posteriormente, com a quantidade dos grãos em cada amostra, poder fazer a classificação dos materiais em estudo.

Os gráficos das Figuras 7 e 8 ilustram as curvas.

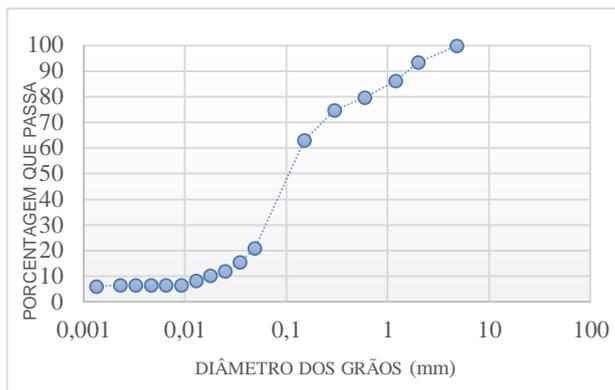


Figura 7 - Curva Granulométrica do Quartzito.

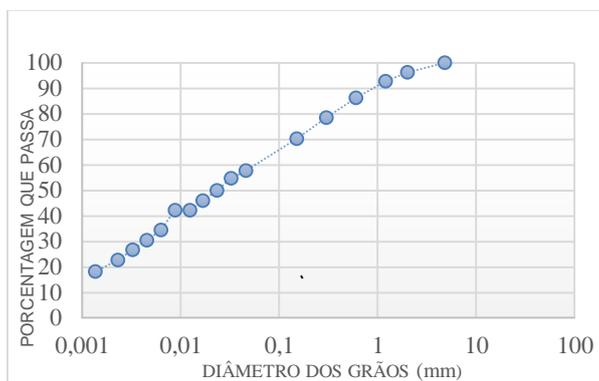


Figura 8 - Curva Granulométrica do Solo Morro Verde

De acordo com as curvas granulométricas, foram obtidas as seguintes porcentagens de argila, silte e areia no solo MR e no Quartzito (Tabela 1):

	Argila	Silte	Areia
Solo Morro Verde	20%	40%	40%
Quartzito	5%	15%	80%

Fonte: O autor (2018)

Tabela 1 - Análise Granulométrica

Em virtude disso, através dos dados sobre os diâmetros dos grãos segundo a ABNT, o quartzito foi classificado como Arenosiltoso, e o Solo Morro Verde como Silte Arenoso com pouco pedregulho.

4.2 Limite de Liquidez

Os resultados dos Limites de Liquidez para a mistura 3:1 e 2:1 de solo/quartzito são 32,19% e 30,29%, respectivamente. Os resultados se mostraram satisfatórios segundo as exigências da ABNT dentro da NBR 10833, que preconiza que o solo recomendado para a fabricação do tijolo solo-cimento deve ter o Limite de Liquidez menor ou igual a 45%, que comprova que este solo possui uma boa coesão entre as partículas permitindo se realizar a moldagem do tijolo com relativa eficiência.

4.3 Limite de Plasticidade

Os resultados das misturas 3:1 e 2:1 para este ensaio foram 24,18% e 23,78%, respectivamente, sendo adequados conforme exigências normativas.

Os valores obtidos nos Ensaio de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade são necessários para obter-se o Índice de Plasticidade (IP), o qual classifica o solo segundo a NBR 10833 (Tabela2).

Índice de Plasticidade	Condições
Fracamente plástico	$1 < IP < 7$
Medianamente plástico	$7 < IP < 15$
Altamente plástico	$IP > 15$

Fonte: NBR 108333

Tabela 2 - Índice de Plasticidade

Mistura Solo/Quartzito	Índice de Plasticidade (IP)
3:1	8
2:1	7

Fonte: O autor (2018)

Tabela 3 - Resultados – Índice de Plasticidade

Estes valores atendem à NBR 10833 – ABNT que exige $IP \leq 18\%$ para o tijolo solo cimento, e classificam o solo como medianamente plásticos.

4.4 Ensaio de Compactação

Confome os resultados apresentados nas Figuras 9 e 10, a mistura 2:1 obteve maior massa específica seca, sendo considera a melhor para trabalhar, porquanto no mesmo volume que a outra mistura, ela obteve menor índices de vazios.

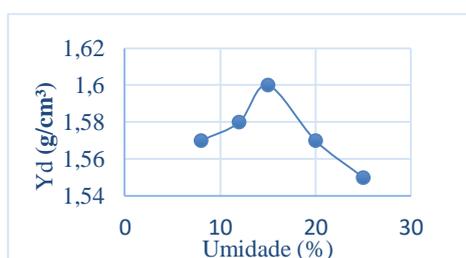


Figura 9 - Massa específica seca mistura 3:1

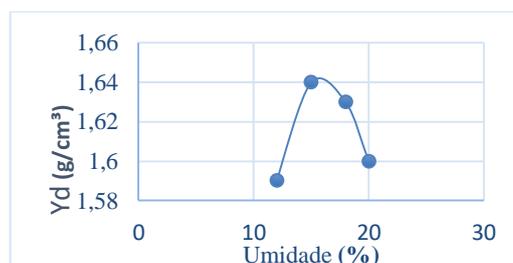


Figura 10 - Massa específica seca mistura 2:1

4.5 Resistência a compressão

Os corpos de prova foram ensaiados e obtidos os resultados apresentados nas Tabelas 4 e 5. A resistência dos tijolos foi calculada dividindo o resultado da carga obtido na prensa pela sua área superficial dimensionada antes da ruptura.

Traço	Amostras	Área (mm ²)	Carga (Kgf)	Resistência (MPa)
1:6	1	15625	4675	2,93
	2	15625	6950	4,36
	3	15625	4400	2,76
	4	15625	6375	4,00
	5	15625	4125	2,59
	6	15625	5050	3,17
	7	15625	6225	3,91
Média		3,39 Mpa		
1:8	1	15000	2600	1,70
	2	15000	4100	2,68
	3	15000	4350	2,85
	4	15000	4625	3,02
	5	15625	3000	1,88
	6	15000	5025	3,29
	7	15000	4975	3,25
Média		2,67 Mpa		

Fonte: O autor (2018)

Tabela 4 - Resultados da Resistência à Compressão

4.6 Absorção de água

Traço	Peso Seco (g)	Peso Úmido (g)	Absorção (%)	Absorção Média (%)
1:6	2989,14	3599,32	20,41	20,53
	3172,39	3764,42	18,66	
	2930,45	3590,47	22,52	
1:8	3201,08	3793,38	18,50	18,81
	3169,21	3770,71	18,98	
	3175,81	3777,12	18,93	

Fonte: O autor (2018)

Tabela 5 - Resultado - Absorção de água

5. Conclusão

A utilização do rejeito de rocha fosfática se mostrou viável para a fabricação dos tijolos, se comportando de maneira positiva durante as moldagens. Observando os resultados de cada amostra e de sua média obtidos no ensaio de resistência a compressão e de absorção de água comparados com o exigido pela NBR 8491 (2012), o melhor traço para confecção dos tijolos foi definido como sendo o 1:8 usando o solo da mineradora e o quartzito na mistura 2:1.

A mistura 2:1 foi definida depois do estudo de dosagem feito em laboratório com as três misturas pré-determinadas (4:1; 3:1 e 2:1), descartando as outras ao decorrer dos ensaios, e determinando a 2:1 como a melhor.

O traço 1:6 também foi considerado um bom traço para produção dos tijolos, pois a norma estabelece que quando mais da metade dos resultados individuais satisfaz as suas exigências, o lote não poderá ser rejeitado. Dessa maneira, levando-se em conta as composições é possível fabricar os tijolos somente com solo rocha fosfática e quartzito. Em virtude disso, os resultados foram satisfatórios, pois os dois traços estudados atenderam em relação a resistência, mas em relação a absorção o traço 1:6 não atendeu a média exigida pela norma. Recomenda-se, portanto, o traço 1:8 para confecção com os dois rejeitos.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7180: Solo-Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016. 13p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8491: tijolo de solo-cimento: requisitos. Rio de Janeiro, 2012b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8492: Tijolo de solo-cimento - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012. 4p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo-Determinação do Limite de Liquidez. NBR 6459.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo-cimento. Ensaio de compactação. NBR 12023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13555: Solo-cimento - Determinação da absorção de água - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1996. 7p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10833: fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica: procedimento. Rio de Janeiro, 2012a..
- ABIROCHAS. Associação Brasileira de Rochas Ornamentais. 2012.
- BRITO L. C; PARANHOS, H. S. Estabilização de Solos. São Paulo: Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. 6. Ed. p. 425-438, setembro de 2017.
- KAWA L. O Minério de Ferro e os Rejeitos das Minas. Disponível em: <<http://professoralucianekawa.blogspot.com/2015/11/o-minerio-de-ferro-e-os-rejeitos-das.html>>. Acesso em: 15 dez. 2018.

- MOTA, J. D.; OLIVEIRA, D. F.; SOUSA, A. A. P.; LARNJEIRA, E.; MONTEIRO, M. R. S.. Utilização do resíduo proveniente do desdobramento de rochas ornamentais na confecção de tijolos ecológicos de solo-cimento. In: 2º Seminário da Região Nordeste sobre Resíduos Sólido. João Pessoa, 2010.
- NASCIMENTO, A. C. S. **Tijolo solo cimento com adição de rejeito de manganês do sudeste paraense**. Dissertação para Mestrado, Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Pará 2015. 97 p.
- PINTO, E. S. Solo-cimento compactado: proposta de métodos de ensaio para dosagem e caracterização física e mecânica. Dissertação de Mestrado em Arquitetura. Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2016. 207 p.
- PISANI, M. A. J. Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo-cimento. In: SINERGIA. v.6. n.1. 2005. São Paulo, 2005. 53-59p.
- RAMIRIO F.; PAMPLONA P.; COLLARES E.; FRANCKLIN I. Estudo comparativo de rejeitos de quartzito com outros agregados comercialmente utilizados como materiais de construção no Sudoeste de Minas Gerais. 2008.
- SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL– SEMAD. (2017). Licença de Operação para pesquisa Mineral. 15p.